



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I902572 B

(45)公告日：中華民國 114 (2025) 年 10 月 21 日

(21)申請案號：113149278

(22)申請日：中華民國 113 (2024) 年 12 月 18 日

(51)Int. Cl. : H01L21/66 (2006.01)

H01L21/67 (2006.01)

(30)優先權：2024/10/15 中國大陸

2024114358491

(71)申請人：大陸商西安奕斯偉材料科技股份有限公司 (中國大陸) XI'AN ESWIN MATERIAL TECHNOLOGY CO., LTD. (CN)

中國大陸

(72)發明人：李安杰 LI, ANJIE (CN)；蘭洵 LAN, XUN (CN)；張婉婉 ZHANG, WANWAN (CN)；尚荔陽 SHANG, LIYANG (CN)

(74)代理人：張耀暉；莊志強

(56)參考文獻：

TW M649301U

CN 106567130A

CN 118610113A

審查人員：謝懷毅

申請專利範圍項數：12 項 圖式數：4 共 32 頁

(54)名稱

晶圓及其粗糙度的改善方法、裝置、設備及介質

(57)摘要

本申請提供了一種晶圓及其粗糙度的改善方法、裝置、設備及介質；該方法包括：偵測完成線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度；當所述粗糙度大於或等於設定的粗糙度閾值時，根據多個切割製程參數與在目標波長範圍的粗糙度之間的擬合函數所指示的切割製程參數的優先級，選擇出需要調整的切割製程參數以降低後續線切割工序所得到的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度。

指定代表圖：

符號簡單說明：

S301:偵測完成線切割
工序的裸晶圓在目標
波長範圍的粗糙度

S302:當所述粗糙度大
於或等於設定的粗糙
度閾值時，根據多個
切割製程參數與在目
標波長範圍的粗糙度
之間的擬合函數所指
示的切割製程參數的
優先級，選擇出需要
調整的切割製程參數
以降低後續線切割工
序所得到的裸晶圓在
目標波長範圍的粗糙
度

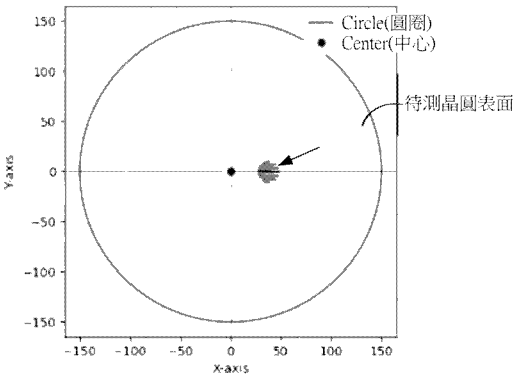


圖5

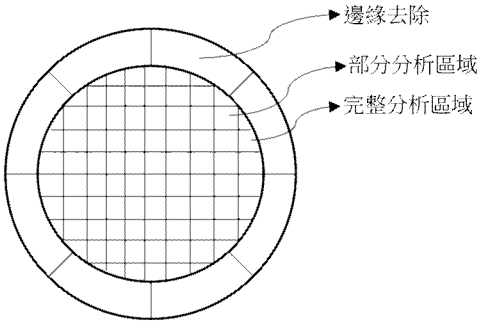


圖6



I902572

【發明摘要】

【中文發明名稱】晶圓及其粗糙度的改善方法、裝置、設備及介質

【中文】

本申請提供了一種晶圓及其粗糙度的改善方法、裝置、設備及介質；該方法包括：偵測完成線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度；當所述粗糙度大於或等於設定的粗糙度閾值時，根據多個切割製程參數與在目標波長範圍的粗糙度之間的擬合函數所指示的切割製程參數的優先級，選擇出需要調整的切割製程參數以降低後續線切割工序所得到的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度。

【指定代表圖】圖3

【代表圖之符號簡單說明】

S301:偵測完成線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度

S302:當所述粗糙度大於或等於設定的粗糙度閾值時，根據多個切割製程參數與在目標波長範圍的粗糙度之間的擬合函數所指示的切割製程參數的優先級，選擇出需要調整的切割製程參數以降低後續線切割工序所得到的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度

【發明說明書】

【中文發明名稱】晶圓及其粗糙度的改善方法、裝置、設備及介質

【技術領域】

【0001】本申請主張在2024年10月15日在中國提交的中國專利申請No. 202411435849.1的優先權，其全部內容通過引用包含於此。

【0002】本申請涉及半導體製造技術領域，尤其涉及一種晶圓及其粗糙度的改善方法、裝置、設備及介質。

【先前技術】

【0003】在晶圓製造過程中，通過直拉法製備出單晶矽棒後，對單晶矽棒依次進行線切割、研磨、刻蝕、磨削、化學機械拋光（Chemical Mechanical Polishing，CMP）以及清洗等加工工序，最終獲得單晶矽晶圓。對於單晶矽晶圓來說，其表面形貌是衡量其品質的關鍵參數。表面粗糙度是晶圓表面形貌參數中重要的一種性能參數。

【0004】根據上述晶圓製造過程中的各加工工序，通過線切割設備將單晶矽棒切割得到裸晶圓之後，該裸晶圓就已經具備一個初始的表面狀態，而後續的研磨、刻蝕、磨削、CMP以及清洗等各加工工序只是在該初始的表面狀態的基礎上逐步修復表面損傷的作用。基於此，如果期望得到表面粗糙度指標更優的單晶矽晶圓，那麼就需要在線切割工序階段就開始進行製程優化，提高線切割工序得到的裸晶圓的表面粗糙度，從而提升最終單晶矽晶圓的表面粗糙度指標。

【0005】但是目前尚未提供一種基於線切割工序得到的裸晶圓的表面粗糙度對線切割工序階段的製程進行優化的方案。

【發明內容】

【0006】 本申請提供了一種晶圓及其粗糙度的改善方法、裝置、設備及介質；以線切割得到的裸晶圓在目標波長範圍內的粗糙度為評估指標，並通過該指標對線切割工序中的製程參數進行調整，降低了晶圓表面的粗糙度。

【0007】 本申請的技術方案是這樣實現的：

【0008】 第一方面，本申請提供了一種晶圓粗糙度的改善方法，所述方法包括：

【0009】 偵測完成線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度；

【0010】 當所述粗糙度大於或等於設定的粗糙度閾值時，根據多個切割製程參數與在目標波長範圍的粗糙度之間的擬合函數所指示的切割製程參數的優先級，選擇出需要調整的切割製程參數以降低後續線切割工序所得到的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度。

【0011】 第二方面，本申請提供了一種晶圓粗糙度的改善裝置，所述裝置包括：偵測部分、比較部分以及工序改善部分；其中，

【0012】 所述偵測部分，被配置成偵測完成線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度；

【0013】 所述比較部分，被配置成比較所述粗糙度與設定的粗糙度閾值，並且當所述粗糙度大於或等於設定的粗糙度閾值時，觸發所述工序改善部分；

【0014】 所述工序改善部分，被配置成根據多個切割製程參數與在目標波長範圍的粗糙度之間的擬合函數所指示的切割製程參數的優先級，選擇出需要調整的切割製程參數以降低後續線切割工序所得到的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度。

【0015】 第三方面，本申請提供了一種計算設備，所述計算設備包括：處

理器和儲存器；所述處理器用於執行所述儲存器中儲存的指令，以實現如第一方面所述的晶圓粗糙度的改善方法。

【0016】 第四方面，本申請提供了一種計算機可讀儲存介質，所述計算機可讀儲存介質儲存有至少一條指令，所述至少一條指令用於被處理器執行以實現如第一方面所述的晶圓粗糙度的改善方法。

【0017】 第五方面，本申請提供了一種晶圓，所述晶圓經由第一方面所述的晶圓粗糙度的改善方法改善後的線切割製程得到，並且在目標波長範圍的粗糙度為以下至少之一：

【0018】 當所述目標波長範圍為0至1.8微米波長時，所述粗糙度為0.01至1nm；

【0019】 當所述目標波長範圍為1.8至22微米波長時，所述粗糙度為1至3nm；

【0020】 當所述目標波長範圍為22微米波長至20毫米波長時，所述粗糙度為3至30nm。

【0021】 本申請提供了一種晶圓及其粗糙度的改善方法、裝置、設備及介質；以線切割得到的裸晶圓在目標波長範圍內的粗糙度為評估指標，當完成線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度大於或等於設定的粗糙度閾值時，根據多個切割製程參數與在目標波長範圍的粗糙度之間的擬合函數所指示的切割製程參數的優先級，選擇出需要調整的切割製程參數，通過對該被選出的切割製程參數進行調整的方式降低後續線切割工序所得到的裸晶圓的在目標波長範圍的粗糙度。

【圖式簡單說明】

【0022】 圖1為本申請提供的示例性的多線切割設備組成示意圖。

- 【0023】圖2為本申請提供的線切割過程中切割區域的示意圖。
- 【0024】圖3為本申請提供的一種晶圓粗糙度的改善方法流程示意圖。
- 【0025】圖4為本申請提供的偵測目標波長範圍的粗糙度的流程示意圖。
- 【0026】圖5為本申請提供的一種濾波器在晶圓表面滑動的示意圖。
- 【0027】圖6為本申請提供的一種劃分得到的分析區域的示意圖。
- 【0028】圖7為本申請提供的一種晶圓粗糙度的改善裝置組成示意圖。
- 【0029】圖8為本申請提供的另一種晶圓粗糙度的改善裝置組成示意圖。
- 【0030】圖9為本申請提供的一種計算設備的結構示意圖。

【實施方式】

【0031】下面將結合本申請中的附圖，對本申請中的技術方案進行清楚、完整地描述。

【0032】參見圖1，其示出了適用於本申請技術方案的示例性的多線切割設備1，該多線切割設備1可以包括線切割單元11和承載單元12。在本申請的一些實施例中，線切割單元11可以在豎向方向上位於承載單元12的下方。在本申請未示出的實施例中，線切割單元11也可以在豎向方向上位於承載單元12的上方，在此不做贅述。

【0033】線切割單元11可以包括多個線軸111、切割線112和切割液供給單元113，切割線112纏繞於線軸111上以形成由相互平行的切割線段構成的陣列。下面參照圖1以線軸111的數量為2個作為示例進行說明。兩個線軸111以軸線彼此平行的方式相對設置。兩個切割液供給單元113分別位於所述兩個線軸111的正上方，用於向兩個線軸111和切割線112噴淋切割液，該切割液可以是一種磨料顆粒懸浮的液體介質。

【0034】線軸111和切割線112朝向和遠離承載單元12的往復運動方向如圖1中的實線箭頭所示，往復運動速度示例性地可以為5m/s至18m/s。承載單元12用於裝載並固定待加工矽棒S，可以包括基台121以及中間件122。待加工矽棒S經由中間件122固定至基台121，例如待加工矽棒可以通過其周向表面黏接至基台121的下表面，從而固定至基台121。

【0035】對於圖1中所示的多線切割設備1，可以通過使承載單元12沿豎向方向朝向切割線段陣列移動以使待加工矽棒靠近切割線段陣列。當切割線段陣列與待加工矽棒S相互接觸之後，利用切割線段陣列中的每個切割線段陣列沿其延伸方向的運動以及承載單元12繼續沿豎向方向朝向切割線段陣列的進給運動實現對待加工矽棒S的切割。需要說明的是，本申請通過升降裝置（圖中未示出）實現線承載單元12的移動，可以理解地，本領域技術人員還可以根據實際需要及實施場景通過其他方式實現承載單元12的移動，本申請對此不做贅述。

【0036】線軸111的周向表面上開設有多個線槽111A，用於引導和固定切割線112，確保其在切割過程中保持穩定的張力和位置。通常，線槽111A在線軸111的周向表面上均勻分佈。

【0037】在基於上述多線切割設備1進行線切割的過程中，切割液無法噴灑至待加工矽棒S的中間部分，切割該部分的切割液只能通過切割線攜帶並運輸而得到。由於切割線僅能夠在有限的空間中運行，並且切割液與切割線材質之間沒有較強的黏著作用，切割線上所附著的切割液極容易在切割線運輸過程中被刮擦掉，使得在切割待加工矽棒S的中間部分時，切割液的含量小於待加工矽棒S的邊緣部分，而切割液含量不足會導致沿切割方向的切割力變小。具體來說，由於缺少切割液的對流傳熱散熱途徑，會在切割待加工矽棒S

的中間部分時積聚更多熱量而無法散去，那麼就會在整個晶片範圍內造成熱應力差異，從而導致晶片的變形。

【0038】此外，隨著待加工矽棒S的向下進給，導致在線切割過程中的切割區域的變化是一個增大-減小的過程。以圖2所示的待加工矽棒的橫截面為例，隨著待加工矽棒S如箭頭所示向下給進，切割的區域從弦（虛線）逐漸增長到直徑再減少為弦（點劃線）。基於圖2所示，當切割的區域為一個直徑的時候，裸晶圓內部積聚熱量更多，存在更高的熱應力變形風險。

【0039】根據以上內容，發明人發現：保持恒定的切割速率可能不是一個理想的線切割方案，可以隨著切割區域增加，適當調整與切割速率相關的製程參數以使得待加工矽棒S內部能夠實現更充分的散熱，從而提高裸晶圓的粗糙度。

【0040】基於此，參見圖3，其示出了本申請提供的一種晶圓粗糙度的改善方法，所述方法包括步驟S301至步驟S302。

【0041】在步驟S301中，偵測完成線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度。

【0042】在本申請中，對於晶圓表面形貌的均一程度，體現於晶圓表面上各點之間的高度差值，這種高度差值在晶圓表面會從整體上呈現出各點高度值的波動現象。基於該認識，本申請以波的角度將這種波動現象視為由不同波長的波信號疊加而造成的，波信號的波長越小，其所表徵高度值波動現象的區域尺寸越小；波信號的波長越大，其所表徵高度值波動現象的區域尺寸越大。

【0043】在以上闡述的基礎上，為了評估或測量出更加微小的區域的粗糙度，本申請可以採用期望測量粗糙度的區域尺寸對上述波動現象進行濾波，從而獲得期望測量粗糙度的區域對應的波長範圍內的波信號數據，並根

據該波信號數據計算獲得出晶圓在該區域尺寸標準下的粗糙度。在本申請中，以目標波長範圍為22微米波長至20毫米波長為例。

【0044】在步驟S302中，當所述粗糙度大於或等於設定的粗糙度閾值時，根據多個切割製程參數與在目標波長範圍的粗糙度之間的擬合函數所指示的切割製程參數的優先級，選擇出需要調整的切割製程參數以降低後續線切割工序所得到的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度。

【0045】在本申請中，在偵測出完成線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度之後，可以通過設定的粗糙度閾值來表徵粗糙度是否良好。以目標波長範圍為22微米波長至20毫米波長為例，在一些示例中，該粗糙度閾值可以設置為25nm。即當裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度數值大於或等於25nm時，則表示多線切割設備1的切割能力劣化嚴重。

【0046】具體來說，線切割工序得到的裸晶圓在宏觀表現出明顯的週期性線痕，這些線痕可以被認為是粗糙度在晶圓表面的整體呈現。基於該種認知可知：這些線痕與前述步驟中提到的粗糙度一樣，可以表現為一種具有振幅的波動現象，並且這種波動現象同樣由不同波長的波信號疊加而造成。

【0047】結合前述圖1所示的多線切割設備的結構以及工作原理，發明人發現：該宏觀表現（即線痕）與線切割工序所採用的以下切割製程參數有關：切割線往復運動的移動速度、切割線往復運動的週期以及待加工矽棒S的進給速度。上述三種切割製程參數對上述裸晶圓表面在目標波長範圍的粗糙度產生的影響程度可由一個擬合函數進行表徵。在本申請中，該擬合函數由關於上述三個切割製程參數的冪函數進行表示，比如按照下式所示：

$$\text{【0048】 } PV = K1 \times Vs^a \times Tr^b \times Vf^c$$

【0049】其中， V_s 表示切割線往復運動的移動速度， T_r 表示切割線往復運動的週期， V_f 表示進給速度， a 、 b 、 c 均為擬合函數中的經驗係數，其分別

表示其對應的切割製程參數對粗糙度的影響程度， $K1$ 表示擬合係數。為了確定上述擬合函數的經驗係數和擬合係數，在一些示例中，利用歷史線切割工序中所採集的切割製程參數以及對歷史線切割工序得到的裸晶圓偵測出的在目標波長範圍的粗糙度代入到上述擬合函數中，從而確定擬合函數中的 a 、 b 、 c 以及 $K1$ 。

【0050】 在本申請中， $K1=6.2\times 10^{-3}$ ， $a=0.529$ ， $b=1.445$ ， $c=0.873$ ，基於該經驗係數 a 、 b 、 c 的具體數值可以看出：經驗係數 b 對應的切割線往復運動的週期對粗糙度的影響最大，其次是經驗係數 c 對應的進給速度，再其次為經驗係數 a 對應的切割線往復運動的移動速度。對於上述影響程度的大小，相應地分別為切割線往復運動的移動速度、切割線往復運動的週期以及進給速度設定優先級，具體來說，影響越大，優先級越高。由此，當粗糙度超過設定的粗糙度閾值，按照上述優先級選擇切割製程參數進行調整，從而降低後續線切割工序所得到的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度。

【0051】 上述圖3所示的技術方案，以線切割得到的裸晶圓在目標波長範圍內的粗糙度為評估指標，當完成線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度大於或等於設定的粗糙度閾值時，根據多個切割製程參數與在目標波長範圍的粗糙度之間的擬合函數所指示的切割製程參數的優先級，選擇出需要調整的切割製程參數，通過對該被選出的切割製程參數進行調整的方式降低後續線切割工序所得到的裸晶圓的在目標波長範圍的粗糙度。

【0052】 對於圖3所示的技術方案，在一些可能的實現方式中，擬合函數可以利用歷史線切割工序中所採集的切割製程參數以及對歷史線切割工序得到的裸晶圓偵測出的在目標波長範圍的粗糙度進行擬合得到，具體的擬合過程可以包括：

【0053】 根據以第一經驗係數為指數的關於切割線往復運動的移動速度的冪函數、以第二經驗係數為指數的關於切割線往復運動的週期的冪函數以及以第三經驗係數為指數的關於進給速度的冪函數的乘積形成初始化一擬合函數；

【0054】 在歷史線切割工序中，採集歷史切割製程參數，並偵測完成歷史線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度；

【0055】 將所述歷史切割製程參數以及完成歷史線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度代入所述擬合函數，以獲得所述擬合函數中的第一經驗係數、第二經驗係數以及第三經驗係數。

【0056】 對於上述實現方式，示例性的具體實施細節可以包括：

【0057】 首先，通過關於上述三個切割製程參數的冪函數表示出一擬合函數如下所示：

$$\text{【0058】 } PV = K1 \times Vs^a \times Tr^b \times Vf^c$$

【0059】 其中， Vs 表示切割線往復運動的移動速度， Tr 表示切割線往復運動的週期， Vf 表示進給速度， a 、 b 、 c 均為擬合函數中的經驗係數，其分別表示其對應的切割製程參數對粗糙度的影響程度， $K1$ 表示擬合係數。

【0060】 接著，將上述擬合函數進行對數變換，從而得到經對數變換後的擬合函數如下式所示：

$$\text{【0061】 } \log(PV) = \log(K1) + a \log(Vs) + b \log(Tr) + c \log(Vf)。$$

【0062】 然後，利用在歷史線切割工序中所採集到的歷史切割製程參數以及偵測得到的完成歷史線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度，對上述經對數變換後的擬合函數通過最小平方法的方式計算出經驗係數以及擬合係數，從而得到能夠適用於圖3所示的技術方案的擬合函數。

【0063】 通過上述擬合函數的獲取過程，最終可以得到 $K1=6.2\times10^{-3}$ ， $a=0.529$ ， $b=1.445$ ， $c=0.873$ 。根據以上經驗係數，可以獲知：切割線往復運動的週期對粗糙度的影響最大，其次是進給速度，再其次為切割線往復運動的移動速度。

【0064】 在本申請中，部分歷史切割製程參數及對應的完成歷史線切割工序的裸晶圓在22微米波長至20毫米波長的範圍的粗糙度，如下表1所示。

Vf (mm/min)	Vs (m/s)	Tr (s)	在目標波長範圍的粗糙度
3	15	80	38.1
3	15	65	28.2
3	15	40	14
2	15	40	9.8
1.5	15	40	7.6
1.5	12	40	6.8
1.5	8	40	5.5

【0065】 表1

【0066】 在本申請中，目標波長範圍為1.8至22微米波長時，基於上述擬合函數的獲取過程，可以得到 $K1=4.4\times10^{-3}$ ， $a=0.659$ ， $b=1.217$ ， $c=0.887$ 。根據以上經驗係數，同樣可以獲知：切割線往復運動的週期對粗糙度的影響最大，其次是進給速度，再其次為切割線往復運動的移動速度。在本申請中，部分歷史切割製程參數及對應的完成歷史線切割工序的裸晶圓在1.8至22微米波長的範圍的粗糙度，如下表2所示。

Vf (mm/min)	Vs (m/s)	Tr (s)	在目標波長範圍的粗糙度
3	15	40	6.2
3	15	30	4.4
3	15	20	2.7
2	15	20	1.9
1.5	15	20	1.4
1.5	12	20	1.2
1.5	8	20	1.0

【0068】 表2

【0069】 在本申請中，目標波長範圍為0至1.8微米波長時，基於上述擬合函數的獲取過程，可以得到 $K1=6.7\times10^{-3}$ ， $a=0.813$ ， $b=1.105$ ， $c=0.971$ 。根據以上經驗係數，同樣可以獲知：切割線往復運動的週期對粗糙度的影響最大，其次是進給速度，再其次為切割線往復運動的移動速度。在本申請中，部分歷史切割製程參數及對應的完成歷史線切割工序的裸晶圓在0至1.8微米波長的範圍的粗糙度，如下表3所示。

Vf (mm/min)	Vs (m/s)	Tr (s)	在目標波長範圍的粗糙度
1.5	8	20	1.5
1.5	8	15	1.1
1.5	8	10	0.7
1	8	10	0.5
0.7	8	10	0.3
0.7	6	10	0.3
0.7	4	10	0.2

【0070】 表3

【0071】 在上述表1、表2以及表3中，從粗糙度隨著 Vf 、 Vs 以及 Tr 的變化而變化的情況同樣可以驗證上述關於切割線往復運動的週期、進給速度以及切割線往復運動的移動速度對粗糙度的影響程度的結論。

【0072】對於圖3所示的技術方案，在一些可能的實現方式中，如圖4所示，步驟S301所述偵測完成線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度的過程可以包括步驟S3011至S3013。

【0073】在步驟S3011中，對於所述裸晶圓的表面的每個採樣點，通過單點測量方案獲取每個採樣點處關於晶圓表面高度的原始測量數據。

【0074】對於本實現方式，具體來說，單點測量方案也就是一次測量過程僅能夠測量出一個採樣點處測量數據的方案。在一些示例中，可以採用接觸式測量方案，比如利用探針與裸晶圓表面接觸並在晶圓表面上進行水平移動。隨著該水平移動，裸晶圓表面高度差異會引起探針產生縱向位移，該縱向位移通過位移感測器感知並將感知到的縱向位移值轉變為裸晶圓表面的高度數據，即關於晶圓表面高度的原始測量數據。在另一些示例中，也可以採用以電容法測量、雷射聚焦測量等的非接觸式測量方案。

【0075】在步驟S3012中，基於裸晶圓的表面的全部採樣點的原始測量數據，針對每個採樣點通過與目標波長範圍對應的濾波器獲取每個採樣點在目標波長範圍的波信號。

【0076】在本實現方式中，通過上述單點測量方案對裸晶圓表面的每個採樣點完成測量之後，所有採樣點的原始測量數據就能夠體現出各採樣點之間的高度差值，從整個晶圓表面可以看成一個三維的波動現象。對於該波動現象，可以將疊加形成該波動現象的不同波長的波信號的振幅用來表示與波長對應尺寸的區域內的高度差值。以目標波長範圍為22微米波長至20毫米波長為例，其波長上限為20mm，波長下限為22 μm 。以目標波長範圍為0至1.8微米波長為例，其波長上限為1.8 μm ，波長下限為0。以目標波長範圍為1.8至22微米波長為例，其波長上限為22 μm ，波長下限為1.8 μm 。

【0077】 在一些示例中，為了獲得每個採樣點在所述目標波長範圍的波信號，在步驟S3012的具體實施過程中，首先利用低通濾波函數的方式從波動現象中濾除波長高於波長上限的波信號，隨後利用高通濾波函數的方式濾除低於波長下限的波信號，最終得到在目標波長範圍內的波信號。

【0078】 具體來說，以上述濾波器是以圓形濾波器為例，並且該圓形濾波器由雙高斯濾波函數組成。其中，第一高斯濾波函數 G_{LP1} 可以是低通濾波範圍覆蓋至所述目標波長範圍的上限的高斯低通濾波函數；第二高斯濾波函數 G_{LP2} 可以是低通濾波範圍覆蓋至所述目標波長範圍的下限的高斯低通濾波函數，並通過 $(1 - G_{LP2})$ 獲得高通濾波函數。基於上述第一高斯濾波函數和第二高斯濾波函數，所述圓形濾波器 G_{DHP} 可以表示為 $G_{DHP} = G_{LP1} (1 - G_{LP2})$ 。在本申請中，以上述示例的圓形濾波器為例，如圖5所示，可以將由箭頭所指示的圓形濾波器在裸晶圓表面上按照採樣點進行滑動，利用處於圓形濾波器中心的採樣點以及圓形濾波器的作用範圍所覆蓋的其他採樣點的原始測量數據通過該圓形濾波器濾波得到每個採樣點在所述目標波長範圍的波信號。

【0079】 需要說明的是，由於晶圓表面越靠近邊緣，其形貌變化越劇烈，為了能夠準確地捕獲劇烈的形貌變化，當採樣點靠近晶圓表面邊緣時，其對應的圓形濾波器的作用範圍應當小於靠近晶圓表面中心的採樣點對應的圓形濾波器的作用範圍，即隨著採樣點逐漸遠離晶圓中心，其對應的濾波器的作用範圍應當減小，或稱之為收縮。因此，所述濾波器的作用範圍的半徑由所述採樣點與所述裸晶圓中心的距離確定。

【0080】 在本申請中，設定一臨界距離用於判斷採樣點靠近晶圓表面中心或者靠近晶圓表面邊緣。當所述採樣點與所述裸晶圓中心的距離小於或等於臨界距離時，所述濾波器的作用範圍的半徑為第一半徑；當所述採樣點與所述裸晶圓中心的距離大於臨界距離時，所述濾波器的作用範圍的半徑為第

二半徑；其中，所述第一半徑與第二半徑均由所述目標波長範圍的上限確定，並且第一半徑大於第二半徑。

【0081】基於上述示例，具體來說，收縮的方式可以是階躍式，即當採樣點與所述裸晶圓中心的距離大於臨界距離時，第二半徑固定設置為一小於第一半徑的數值；也可以是漸變式，即第二半徑隨著採樣點遠離裸晶圓中心而逐漸減小。具體來說，當所述採樣點與所述裸晶圓中心的距離大於臨界距離時，所述第二半徑為一小於第一半徑的固定數值，或者，所述第二半徑與所述採樣點與所述裸晶圓中心的距離呈負相關關係。

【0082】在步驟S3013中，基於所有採樣點在所述目標波長範圍的波信號的振幅統計值確定所述裸晶圓在所述目標波長範圍的粗糙度。

【0083】對於上述實現方式，在通過濾波獲得所有採樣點在目標波長範圍的波信號之後，在一些示例中，所述基於所有採樣點在所述目標波長範圍的波信號的振幅統計值確定所述裸晶圓在所述目標波長範圍的粗糙度，包括：

【0084】將裸晶圓劃分出多個分析區域；

【0085】根據每個分析區域內的採樣點在所述目標波長範圍的波信號的振幅值計算出每個分析區域在所述目標波長範圍的波信號的振幅的全距；

【0086】將所有分析區域在所述目標波長範圍的波信號的振幅的全距平均值確定為所述裸晶圓在所述目標波長範圍的粗糙度指標。

【0087】對於上述示例，如圖6所示，裸晶圓表面在按照EE去除邊緣區域之後，剩餘區域按照設定的尺寸，例如10mm×10mm的方形區域進行劃分，從而能夠得到能夠呈現出完整方形的完整分析區域以及處於按照EE去除邊緣區域之後剩餘區域的邊緣且無法呈現完整方形的非完整分析區域，這兩個分析區域組成了上述實現方式中的分析區域。

【0088】 需要說明的是，晶圓表面所有採樣點在所述目標波長範圍的波信號，其包括了能夠表徵晶圓表面在目標波長範圍對應尺寸區域內的表面形貌（即粗糙度）的所有訊息，這些訊息可以通過振幅的統計值進行表徵，例如前述技術方案所提到的振幅的平均值，極值，設定尺寸面積占比下的極值，全距，變異數，標準差，中位數，眾數等。

【0089】 在本申請中，以全距為例，所述每個分析區域在所述目標波長範圍的波信號的振幅統計值為所述每個分析區域內的採樣點和插值點在所述目標波長範圍的波信號的振幅值的全距；相應地，所述裸晶圓在所述目標波長範圍的粗糙度指標為所有分析區域在所述目標波長範圍的波信號的振幅值的全距的平均值。

【0090】 基於上述技術方案及具體實施例，通過由前述晶圓粗糙度的改善方法改善後的線切割製程得到的晶圓，其在目標波長範圍的粗糙度為以下至少之一：

【0091】 當所述目標波長範圍為0至1.8微米波長時，所述粗糙度為0.01至1nm；

【0092】 當所述目標波長範圍為1.8至22微米波長時，所述粗糙度為1至3nm；

【0093】 當所述目標波長範圍為22微米波長至20毫米波長時，所述粗糙度為3至30nm。

【0094】 基於前述技術方案相同的發明構思，參見圖7，其示出了一種晶圓粗糙度的改善裝置70，所述改善裝置70包括：偵測部分701、比較部分702以及工序改善部分703；其中，

【0095】 所述偵測部分701，被配置成偵測完成線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度；

【0096】 所述比較部分702，被配置成比較所述粗糙度與設定的粗糙度閾值，並且當所述粗糙度大於或等於設定的粗糙度閾值時，觸發所述工序改善部分703；

【0097】 所述工序改善部分703，被配置成根據多個切割製程參數與在目標波長範圍的粗糙度之間的擬合函數所指示的切割製程參數的優先級，選擇出需要調整的切割製程參數以降低後續線切割工序所得到的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度。

【0098】 在一些示例中，所述多個切割製程參數包括：切割線往復運動的移動速度、切割線往復運動的週期以及進給速度；

【0099】 相應地，所述擬合函數由分別關於切割線往復運動的移動速度、切割線往復運動的週期以及進給速度的冪函數的乘積表示。

【0100】 在一些示例中，參見圖8，所述改善裝置70還包括：擬合部分704，被配置成：

【0101】 根據以第一經驗係數為指數的關於切割線往復運動的移動速度的冪函數、以第二經驗係數為指數的關於切割線往復運動的週期的冪函數以及以第三經驗係數為指數的關於進給速度的冪函數的乘積形成初始化一擬合函數；

【0102】 在歷史線切割工序中，採集歷史切割製程參數，並偵測完成歷史線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度；

【0103】 將所述歷史切割製程參數以及完成歷史線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度代入所述擬合函數，以獲得所述擬合函數中的第一經驗係數、第二經驗係數以及第三經驗係數。

【0104】 在一些示例中，所述擬合部分704，被配置成：

【0105】 將所述擬合函數進行對數變換，以得到經對數變換後的擬合函數；

【0106】 利用所述歷史切割製程參數以及所述完成歷史線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度，對所述經對數變換後的擬合函數通過最小平方方法的方式計算出所述擬合函數中的第一經驗係數、第二經驗係數以及第三經驗係數。

【0107】 在一些示例中，所述偵測部分701，被配置成：

【0108】 對於所述裸晶圓的表面的每個採樣點，通過單點測量方案獲取每個採樣點處關於晶圓表面高度的原始測量數據；

【0109】 基於所述裸晶圓的表面的全部採樣點的原始測量數據，針對每個採樣點通過與目標波長範圍對應的濾波器獲取每個採樣點在所述目標波長範圍的波信號；

【0110】 基於所有採樣點在所述目標波長範圍的波信號的振幅統計值確定所述裸晶圓在所述目標波長範圍的粗糙度。

【0111】 在一些示例中，所述濾波器為圓形濾波器，並且由雙高斯濾波函數組成；

【0112】 所述濾波器的作用範圍的半徑由所述採樣點與所述裸晶圓中心的距離確定，並且當所述採樣點與所述裸晶圓中心的距離小於或等於臨界距離時，所述濾波器的作用範圍的半徑為第一半徑；當所述採樣點與所述裸晶圓中心的距離大於臨界距離時，所述濾波器的作用範圍的半徑為第二半徑；其中，所述第一半徑與第二半徑均由所述目標波長範圍的上限確定，並且第一半徑大於第二半徑。

【0113】 在一些示例中，所述偵測部分701，被配置成：

【0114】 將裸晶圓劃分出多個分析區域；

【0115】 根據每個分析區域內的採樣點在所述目標波長範圍的波信號的振幅值計算出每個分析區域在所述目標波長範圍的波信號的振幅的全距；

【0116】 將所有分析區域在所述目標波長範圍的波信號的振幅的全距平均值確定為所述裸晶圓在所述目標波長範圍的粗糙度指標。

【0117】 在一些示例中，當所述目標波長範圍為0至1.8微米波長時，所述粗糙度閾值為1nm；

【0118】 當所述目標波長範圍為1.8至22微米波長時，所述粗糙度閾值為3nm；

【0119】 當所述目標波長範圍為22微米波長至20毫米波長時，所述粗糙度閾值為25nm。

【0120】 需要說明的是，對於上述裝置中，各“部分”所配置功能的具體實現，可參見前述晶圓粗糙度的改善方法中相對應步驟的實現方式及其示例，在此不再贅述。

【0121】 請參考圖9，其示出了本申請一個示例性實施例提供的計算設備的結構方框圖。在一些示例中，計算設備90可以為智能手機、智能手錶、桌上型電腦、筆記型電腦、虛擬現實終端、增強現實終端、無線終端和膝上型電腦等設備中的至少一種。計算設備90具有通信功能，可以接入有線網絡或無線網絡。計算設備90可以泛指多個終端中的一個，本領域技術人員可以知曉，上述終端的數量可以更多或更少。在一些示例中，計算設備90可以基於所接入的有線網絡或無線網絡接收數據。可以理解地，計算設備90承擔本申請技術方案的計算及處理工作，本申請對此不作限定。

【0122】 如圖9所示，本申請中的計算設備可以包括一個或多個如下部件：處理器910和儲存器920。

【0123】可選的，處理器910利用各種介面和線路連接整個計算設備內的各個部分，通過運行或執行儲存在儲存器920內的指令、程序、代碼集或指令集，以及調用儲存在儲存器920內的數據，執行計算設備的各種功能和處理數據。可選地，處理器910可以採用數位信號處理（Digital Signal Processing，DSP）、現場可程式化邏輯閘陣列（Field-Programmable Gate Array，FPGA）、可程式化邏輯陣列（Programmable Logic Array，PLA）中的至少一種硬體形式來實現。處理器910可集成中央處理器（Central Processing Unit，CPU）、圖像處理器（Graphics Processing Unit，GPU）、神經網絡處理器（Neural-network Processing Unit，NPU）和基帶晶片等中的一種或幾種的組合。其中，CPU主要處理操作系統、用戶界面和應用程序等；GPU用於負責觸摸螢幕所需要顯示的內容的渲染和繪製；NPU用於實現人工智能（Artificial Intelligence，AI）功能；基帶晶片用於處理無線通信。可以理解的是，上述基帶晶片也可以不集成到處理器910中，單獨通過一塊晶片進行實現。

【0124】儲存器920可以包括隨機儲存器（Random Access Memory，RAM），也可以包括唯讀記憶體（Read-Only Memory，ROM）。可選地，該儲存器920包括非瞬時性計算機可讀介質（non-transitory computer-readable storage medium）。儲存器920可用於儲存指令、程序、代碼、代碼集或指令集。儲存器920可包括儲存程序區和儲存數據區，其中，儲存程序區可儲存用於實現操作系統的指令、用於至少一個功能的指令（比如觸控功能、聲音播放功能、圖像播放功能等）、用於實現以上各個方法實施例的指令等；儲存數據區可儲存根據計算設備的使用所創建的數據等。

【0125】除此之外，本領域技術人員可以理解，上述附圖所示出的計算設備的結構並不構成對計算設備的限定，計算設備可以包括比圖示更多或更少的部件，或者組合某些部件，或者不同的部件佈置。比如，計算設備中還

包括螢幕、攝像組件、麥克風、揚聲器、射頻電路、輸入單元、感測器（比如加速度感測器、角速度感測器、光線感測器等等）、音頻電路、WiFi模塊、電源、藍牙模塊等部件，在此不再贅述。

【0126】本申請還提供了一種計算機可讀儲存介質，該計算機可讀儲存介質儲存有至少一條指令，所述至少一條指令用於被處理器執行以實現如上各個實施例所述的晶圓粗糙度的改善方法。

【0127】本申請還提供了一種計算機程序產品，該計算機程序產品包括計算機指令，該計算機指令儲存在計算機可讀儲存介質中；計算設備的處理器從計算機可讀儲存介質讀取該計算機指令，處理器執行該計算機指令，使得該計算設備執行以實現上述各個實施例所述的晶圓粗糙度的改善方法。

【0128】本申請還提供了一種晶圓，該晶圓經由前述技術方案所述的晶圓粗糙度的改善方法改善後的線切割製程得到，並且在目標波長範圍的粗糙度為以下至少之一：

【0129】當所述目標波長範圍為0至1.8微米波長時，所述粗糙度為0.01至1nm；

【0130】當所述目標波長範圍為1.8至22微米波長時，所述粗糙度為1至3nm；

【0131】當所述目標波長範圍為22微米波長至20毫米波長時，所述粗糙度為3至30nm。

【0132】本領域技術人員應該可以意識到，在上述一個或多個示例中，本申請所描述的功能可以用硬體、軟體、韌體或它們的任意組合來實現。當使用軟體實現時，可以將這些功能儲存在計算機可讀介質中或者作為計算機可讀介質上的一個或多個指令或代碼進行傳輸。計算機可讀介質包括計算機儲存介質和通信介質，其中通信介質包括便於從一個地方向另一個地方傳送

計算機程序的任何介質。儲存介質可以是通用或專用計算機能夠存取的任何可用介質。

【0133】 需要說明的是：本申請所記載的技術方案之間，在不衝突的情況下，可以任意組合。

【0134】 以上所述，僅為本發明的具體實施方式，但本發明的保護範圍並不局限於此，任何熟悉本技術領域的技術人員在本發明揭露的技術範圍內，可輕易想到變化或替換，都應涵蓋在本發明的保護範圍之內。因此，本發明的保護範圍應以所述權利要求的保護範圍為準。

【符號說明】

【0135】

1:多線切割設備

11:線切割單元

111:線軸

111A:線槽

112:切割線

113:切割液供給單元

12:承載單元

121:基台

122:中間件

70:改善裝置

701:偵測部分

702:比較部分

703:工序改善部分

704:擬合部分

90:計算設備

910:處理器

920:儲存器

S:待加工矽棒

S301:偵測完成線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度

S3011:對於所述裸晶圓的表面的每個採樣點，通過單點測量方案獲取每個採樣點處關於晶圓表面高度的原始測量數據

S3012:基於裸晶圓的表面的全部採樣點的原始測量數據，針對每個採樣點通過與目標波長範圍對應的濾波器獲取每個採樣點在目標波長範圍的波信號

S3013:基於所有採樣點在所述目標波長範圍的波信號的振幅統計值確定所述裸晶圓在所述目標波長範圍的粗糙度

S302:當所述粗糙度大於或等於設定的粗糙度閾值時，根據多個切割製程參數與在目標波長範圍的粗糙度之間的擬合函數所指示的切割製程參數的優先級，選擇出需要調整的切割製程參數以降低後續線切割工序所得到的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種晶圓粗糙度的改善方法，所述方法包括：

偵測完成線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度；

當所述粗糙度大於或等於設定的粗糙度閾值時，根據多個切割製程參數與在目標波長範圍的粗糙度之間的擬合函數所指示的切割製程參數的優先級，選擇出需要調整的切割製程參數。

【請求項2】 如請求項 1 所述的方法，其中，所述多個切割製程參數包括：切割線往復運動的移動速度、切割線往復運動的週期以及進給速度；

相應地，所述擬合函數由分別關於切割線往復運動的移動速度、切割線往復運動的週期以及進給速度的冪函數的乘積表示。

【請求項3】 如請求項 1 所述的方法，所述方法還包括：

根據以第一經驗係數為指數的關於切割線往復運動的移動速度的冪函數、以第二經驗係數為指數的關於切割線往復運動的週期的冪函數以及以第三經驗係數為指數的關於進給速度的冪函數的乘積形成初始化一擬合函數；

在歷史線切割工序中，採集歷史切割製程參數，並偵測完成歷史線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度；

將所述歷史切割製程參數以及完成歷史線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度代入所述擬合函數，以獲得所述擬合函數中的第一經驗係數、第二經驗係數以及第三經驗係數。

【請求項4】 如請求項 3 所述的方法，其中，所述將所述歷史切割製程參數

以及完成歷史線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度代入所述擬合函數，以獲得所述擬合函數中的第一經驗係數、第二經驗係數以及第三經驗係數，包括：

將所述擬合函數進行對數變換，以得到經對數變換後的擬合函數；

利用所述歷史切割製程參數以及所述完成歷史線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度，對所述經對數變換後的擬合函數通過最小平方法的方式計算出所述擬合函數中的第一經驗係數、第二經驗係數以及第三經驗係數。

【請求項5】 如請求項 1 所述的方法，其中，所述偵測完成線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度包括：

對於所述裸晶圓的表面的每個採樣點，通過單點測量方案獲取每個採樣點處關於晶圓表面高度的原始測量數據；

基於所述裸晶圓的表面的全部採樣點的原始測量數據，針對每個採樣點通過與目標波長範圍對應的濾波器獲取每個採樣點在所述目標波長範圍的波信號；

基於所有採樣點在所述目標波長範圍的波信號的振幅統計值確定所述裸晶圓在所述目標波長範圍的粗糙度。

【請求項6】 如請求項 5 所述的方法，其中，所述濾波器為圓形濾波器，並且由雙高斯濾波函數組成；

所述濾波器的作用範圍的半徑由所述採樣點與所述裸晶圓中心的距離確定，並且當所述採樣點與所述裸晶圓中心的距離小於或等於臨界距離時，所述濾波器的作用範圍的半徑為第一半徑；當所述採樣點與所述裸晶圓中心的距離大於臨界距離時，所述

濾波器的作用範圍的半徑為第二半徑；其中，所述第一半徑與第二半徑均由所述目標波長範圍的上限確定，並且第一半徑大於第二半徑。

【請求項7】 如請求項 5 所述的方法，其中，所述基於所有採樣點在所述目標波長範圍的波信號的振幅統計值確定所述裸晶圓在所述目標波長範圍的粗糙度，包括：

將裸晶圓劃分出多個分析區域；

根據每個分析區域內的採樣點在所述目標波長範圍的波信號的振幅值計算出每個分析區域在所述目標波長範圍的波信號的振幅的全距；

將所有分析區域在所述目標波長範圍的波信號的振幅的全距平均值確定為所述裸晶圓在所述目標波長範圍的粗糙度指標。

【請求項8】 如請求項 1 至 7 任一項所述的方法，其中，當所述目標波長範圍為 0 至 1.8 微米波長時，所述粗糙度閾值為 1nm；

當所述目標波長範圍為 1.8 至 22 微米波長時，所述粗糙度閾值為 3nm；

當所述目標波長範圍為 22 微米波長至 20 毫米波長時，所述粗糙度閾值為 25nm。

【請求項9】 一種晶圓粗糙度的改善裝置，所述裝置包括：偵測部分、比較部分以及工序改善部分；其中，

所述偵測部分，被配置成偵測完成線切割工序的裸晶圓在目標波長範圍的粗糙度；

所述比較部分，被配置成比較所述粗糙度與設定的粗糙度閾

值，並且當所述粗糙度大於或等於設定的粗糙度閾值時，觸發所述工序改善部分；

所述工序改善部分，被配置成根據多個切割製程參數與在目標波長範圍的粗糙度之間的擬合函數所指示的切割製程參數的優先級，選擇出需要調整的切割製程參數。

【請求項10】一種計算設備，所述計算設備包括：處理器和儲存器；所述處理器用於執行所述儲存器中儲存的指令，以實現如請求項 1 至 8 任一項所述的晶圓粗糙度的改善方法。

【請求項11】一種計算機可讀儲存介質，所述計算機可讀儲存介質儲存有至少一條指令，所述至少一條指令用於被處理器執行以實現如請求項 1 至 8 任一項所述的晶圓粗糙度的改善方法。

【請求項12】一種晶圓，所述晶圓經由如請求項 1 至 9 任一項所述的晶圓粗糙度的改善方法改善後的線切割製程得到，並且在目標波長範圍的粗糙度為以下至少之一：

當所述目標波長範圍為 0 至 1.8 微米波長時，所述粗糙度為 0.01 至 1nm；

當所述目標波長範圍為 1.8 至 22 微米波長時，所述粗糙度為 1 至 3nm；

當所述目標波長範圍為 22 微米波長至 20 毫米波長時，所述粗糙度為 3 至 30nm。

【發明圖式】

1

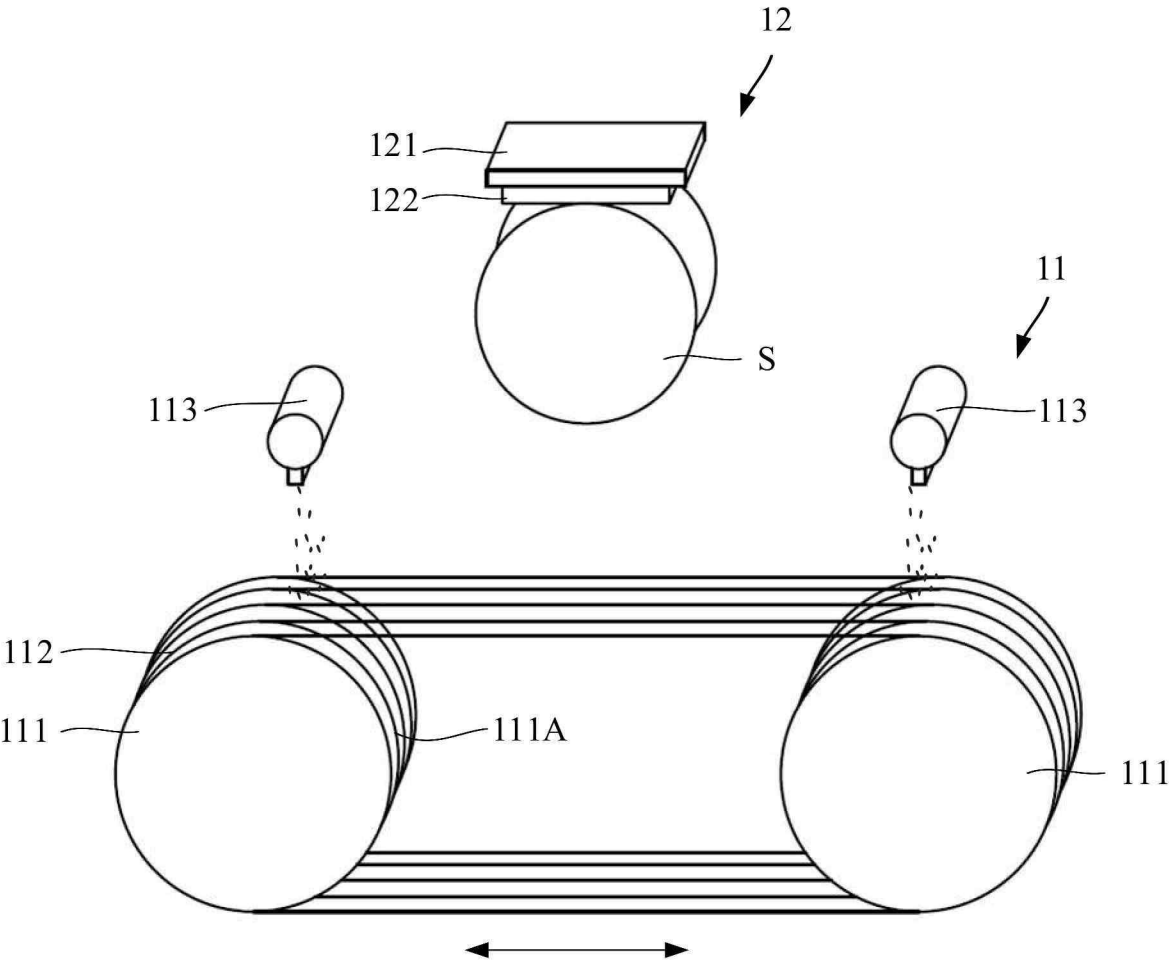


圖1

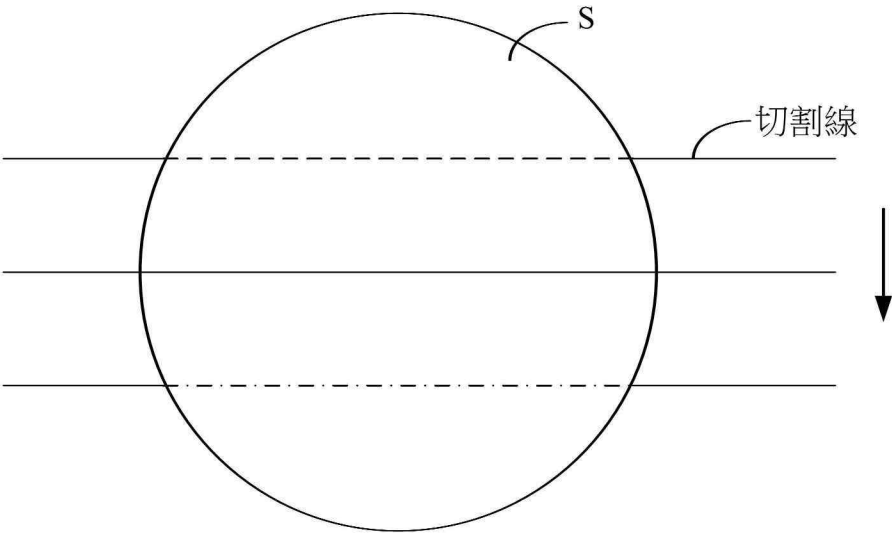


圖2

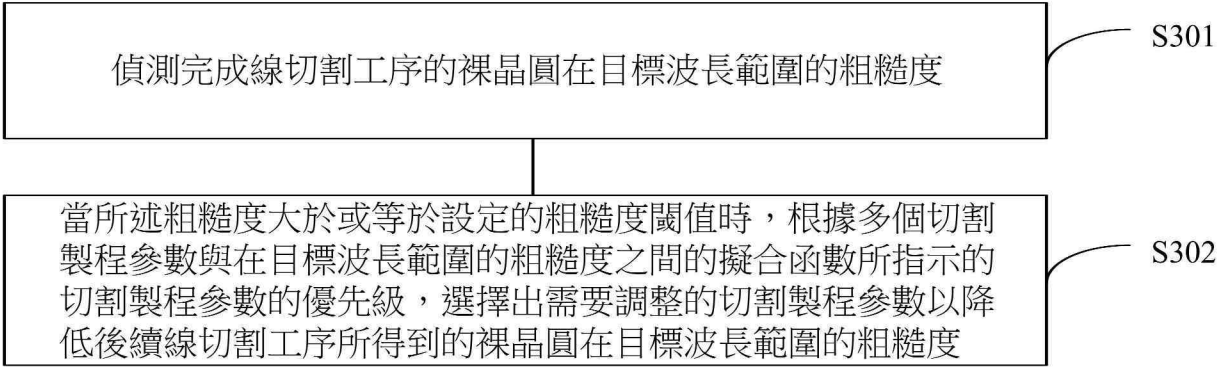


圖3

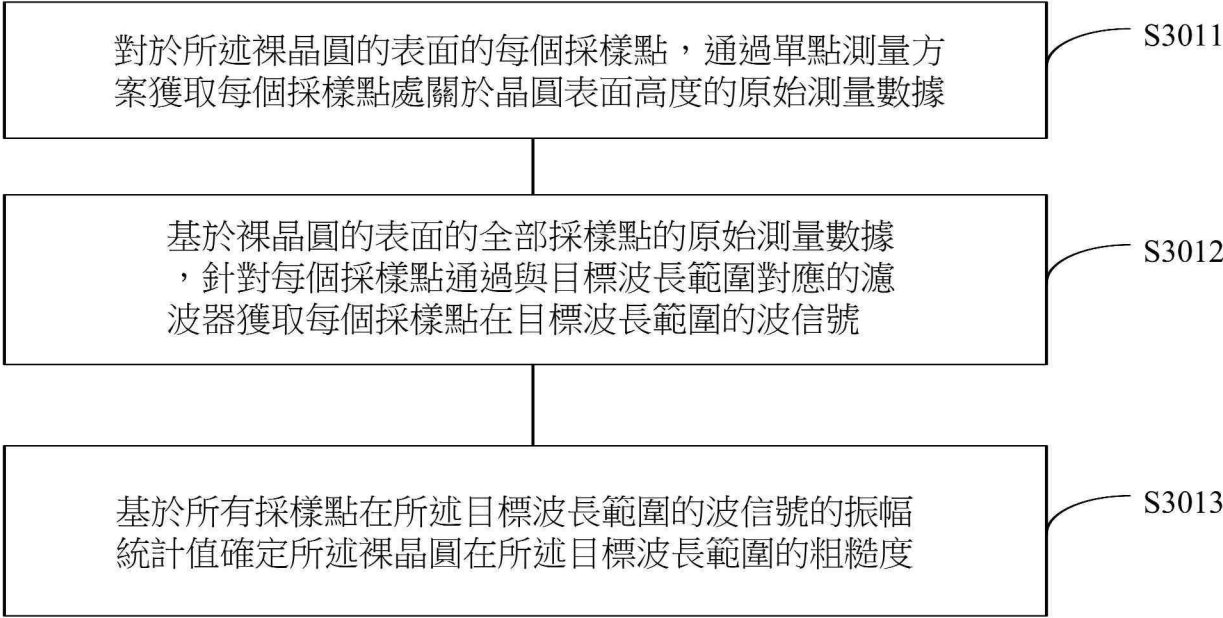


圖4

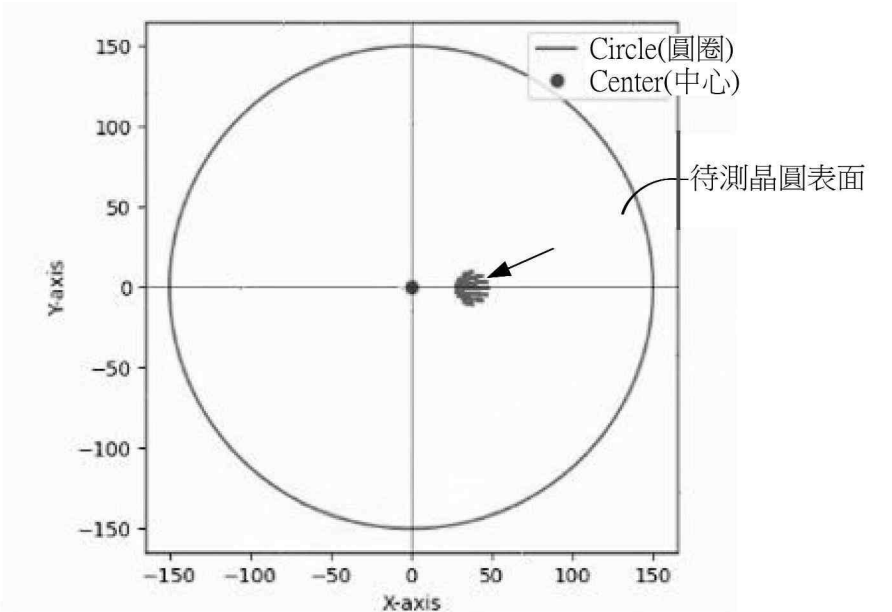


圖5

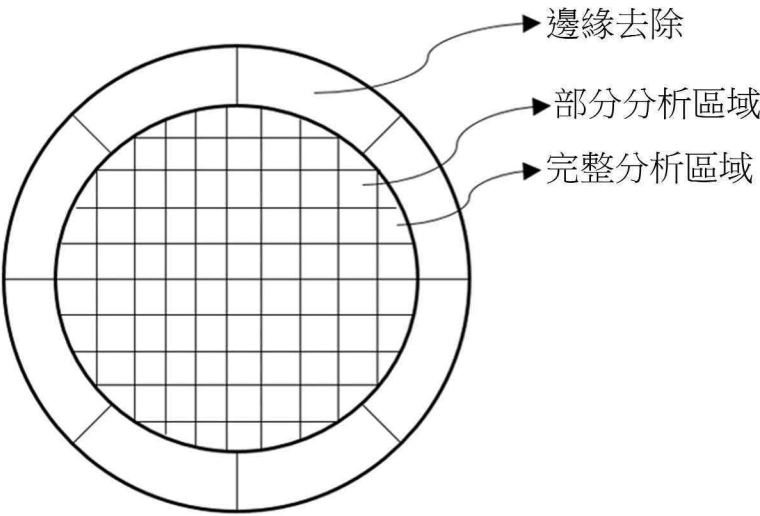


圖6

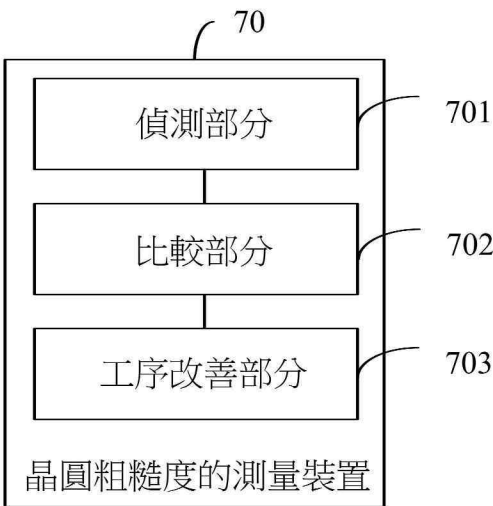


圖7

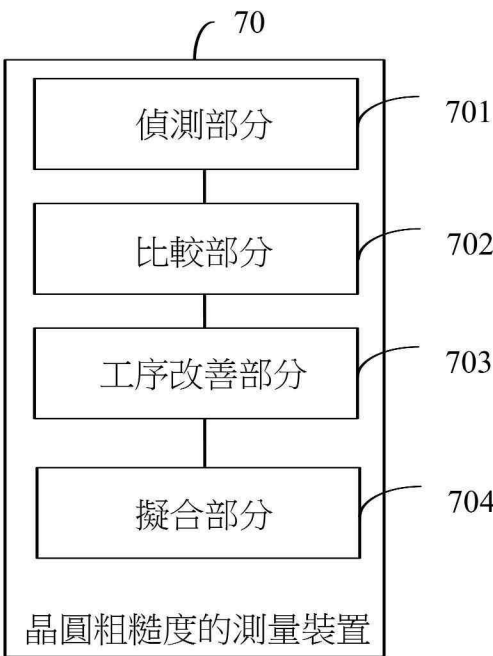


圖8

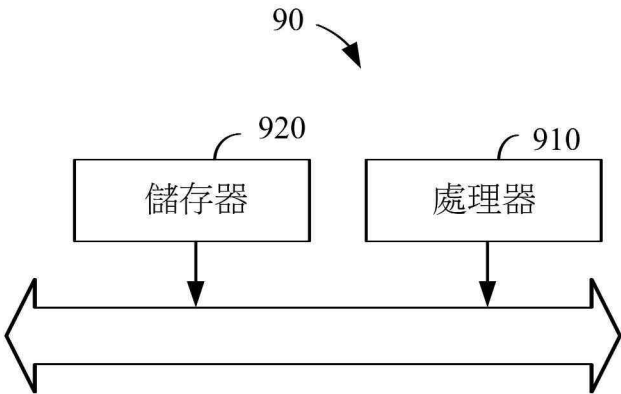


圖9